

# 今後の研究課題について

平田 晃正  
牛山 明

## 今後の研究課題の収集について

構成員およびオブザーバーに、国際動向を勘案の上、提案を依頼。

以下の項目から、合致する分野を選択

### 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
4. その他(〇〇の分野)

20件の提案。

「その他」の提案については、主に適合性評価を中心とした工学分野。工学分野については、波及効果が想定されるものとして改めてまとめ直した。

リスク評価に関わるもの、ガイドライン改定に係るもの、双方に係るものがあるが、データの取得方法などで変化する可能性があるため、今回はその区分は実施しない。

中間周波	2	3	4	1
高周波	1	2	6	2
超高周波	3	4	5	3

# 生物学的影響に関する研究

# 研究課題名:「時間要素を考慮した超高周波数帯電磁界の急性影響探索」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】100GHz~300GHz~(500GHz)

【研究目的・全体概要】100 GHzから300 GHz(または500 GHz程度)までの周波数帯高強度電波が発振可能な波源を利用し、これまで得られたことのない300 GHzまでのばく露時間要素を考慮した急性影響域値に関するデータを世界に先駆けて取得する。それにより超高周波数帯のガイドライン改定の方角性をリードする。

## 【現状・課題】

- ・総務省の「電波資源拡大のための研究開発」などでは「ミリ波・テラヘルツ波システム」として100 GHz超のミリ波帯の新しい無線通信システムが積極的に研究開発されている。一方で、新技術の円滑な導入にあたっては、生体安全性の検討が重要とある。
- ・提案周波数帯ではこれまで急性影響について探索できる強度のばく露装置が国内外で存在せず、正確な域値の実験的評価がなされていない。
- ・ガイドラインにおけるばく露の平均化時間の検討が十分でなく、ばく露時間-強度ダイヤグラムに基づいた適切な平均化時間の策定が必要である。
- ・最新の欧州委員会SCENIHRの意見書(2015)に記載されているように、リスク評価に資する生物学的な知見はほとんどない。

## 【具体的内容】

・研究内容: ジャイロトロンを利用した100-300 GHzの体表面組織(皮膚・角膜)ばく露システムの開発とばく露評価手法の確立。動物実験及び動物3次元細胞モデルに基づいた、体表面の組織(皮膚・角膜)の時間-ばく露強度の生体作用応答ダイヤグラムの作成。

## 【想定される研究成果】

- ・超高周波数帯の高強度ばく露データの取得。
- ・ばく露時間を考慮した100 GHz超の障害域値の明確化。
- ・定量的な域値推定シミュレーションシステムによるリスク評価。

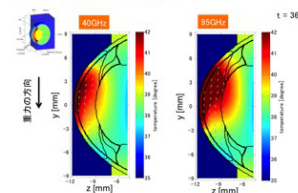
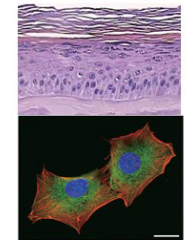
【期待される効果】・これまで調べられなかった超高周波数帯電波の生体作用に関して、ICNIRP、WHOに向けて、独自の先進的研究成果を日本から発信。マイクロ波帯と赤外領域とのガイドラインの調和を行うデータ提供。我が国の電波防護指針の検証、電波防護指針の改定などのための安全性評価の方角性の明確化。



ジャイロトロンを波源としたばく露装置開発

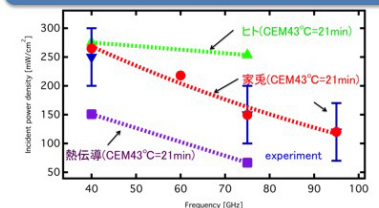


動物・3次元組織モデル・細胞を用いた熱応答の評価とヒトへの外挿



流体熱輸送を考慮した300GHz程度までの数値シミュレーションの構築

$$CEM43^{\circ}C(\vec{r}, t) = \int_0^t R^{(43-\tau(\vec{r}, t))} dt' \text{ [min]}$$



CEM43°Cなどを使用した生体作用閾値の数値モデルの構築

# 研究課題名:「超高周波帯パルス波の生体への作用調査」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】100GHz～600GHz

## 【研究目的・全体概要】

・OOKなどのパルス変調によるテラヘルツ無線通信の高速化や超短パルスにより不透明物質の内部の可視化(非破壊検査)等、100GHz以上の超高周波帯においてパルス波の利用が進んでいる。一方で、超高周波帯におけるパルス波の生体への影響調査がほとんど実施されてきていない。  
・本研究では、超高周波帯におけるパルス波の生体影響を調査するための、ばく露装置の開発、ばく露評価手法の確立およびこれらの装置・技術を用いた生物実験による生体影響データの取得を目的とする。

## 【現状・課題】

- ・超高周波帯パルス波の生体への影響に関する情報が十分でない。
- ・通信等に使用される可能性の高いパルス波について、細胞・組織レベルでの影響の可能性を調査する必要がある。

## 【具体的内容】

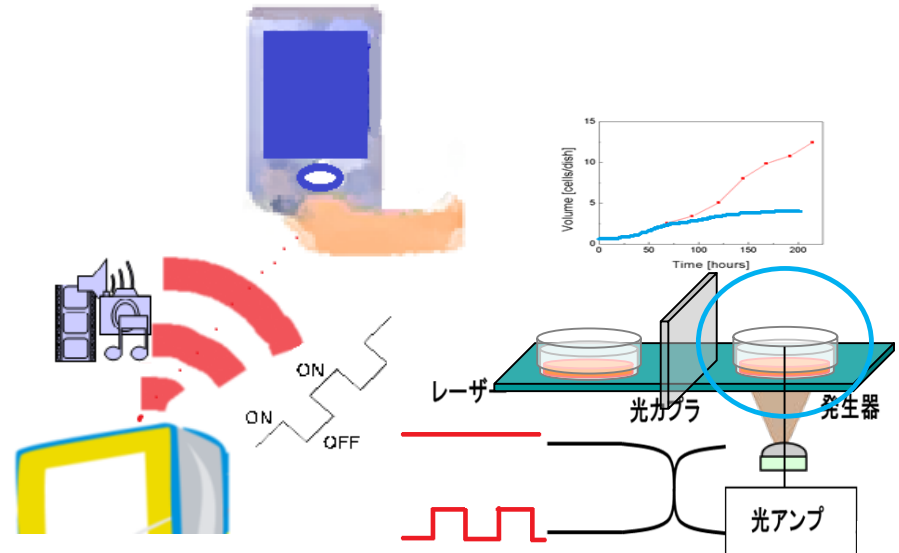
変調可能な超高周波帯パルス発生器を作製・評価し、皮膚または眼部に関する細胞または組織等を用いた曝露実験を実施する。また、分子レベルでの分析を進め、生体分子への触媒作用の可能性の有無を明らかにする。

## 【想定される研究成果】

・無線通信や非破壊検査等に用いられる可能性の高いパルス波について、生体への影響の可能性を確認でき、各機器の利用者の安全と安心を確保できる。

## 【期待される効果】

・現状の調査においてパルス波の影響調査が欠落しているところ、超高周波帯パルス波について細胞または組織レベルでの電波の影響を明らかにし、WHOの電磁界の健康への影響評価に貢献する。



# 研究課題名：「5G電波の皮膚ばく露の及ぼす生体影響とその反応閾値の実験的評価」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】28GHz – 60 GHz

## 【研究目的・全体概要】

5G電波は皮膚吸収特性が高いことから、電波ばく露に対する皮膚の生体影響に関して動物実験により調査すると共に、未だ明らかになっていない反応惹起の電波強度閾値を推定する。

## 【現状・課題】

- 国内外において第5次移動通信の普及および関連するインフラの整備が進められているが、当該電波の及ぼす生体影響に関する知見が不足している。また、現状では5Gの仕様が確定しておらず、故にその実利用が見えてくる平成31年度以降、動物実験を実施することは有効である。
- 第3世代移動体通信で使用される電波においては、疫学調査により各種疾患が増加傾向にある、あるいは少数の研究グループではあるものの、生物学的実験においても生体影響の存在が報告されている。5G周波数帯においても多角的な検討をする必要がある。

## 【具体的内容】

実験動物に5G電波をばく露し、ばく露時の皮膚温度及び生理学的指標の変化を調査する。また、ばく露後に皮膚の炎症レベルを評価する。さらに、取得したデータから汎用性の高いシミュレーション用モデルを構築する。

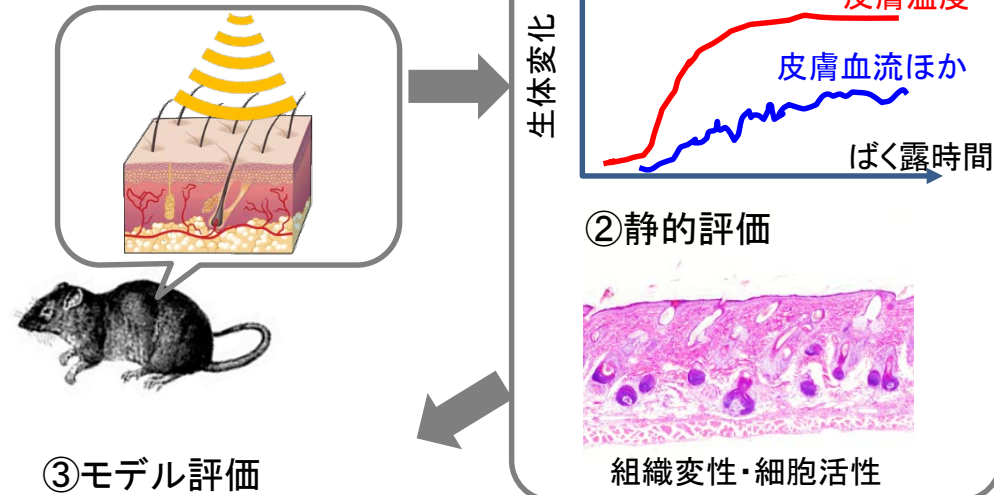
## 【想定される研究成果】

- 皮膚の生理反応惹起に関する電波ばく露強度およびその時の皮膚温度の用量反応関係が明らかになる。
- 高出力ばく露下における皮膚炎症惹起のばく露強度閾値が明らかにできる(人体では検討ができないレベル)。

## 【期待される効果】

国内外を通して未だ明確になっていない5G電波の安全性評価の基礎知見が蓄積されるとともに、今後策定される電波防護指針、さらにはWHO基準の策定に向け、炎症反応を考慮した基準値の基礎資料となることが期待される。

## 5G電波皮膚ばく露



$$B(\mathbf{r}, t) = \left[ B_0(\mathbf{r}) + F_{HB} \Delta T_H + F_{SB} \overline{\Delta T_S} \right] \cdot 2^{\Delta T(\mathbf{r}, t)/6}$$



# 研究課題名:「5G電波人体局所ばく露に関する年齢および環境温湿度に対する閾値変動の調査」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】28GHz – 60 GHz

## 【研究目的・全体概要】

5G局所電波ばく露時の人体皮膚影響およびその影響閾値に関して、異なる年齢層の被験者および異なる環境温湿度条件に対する生体影響閾値の変動について調査する。特に、5G以上の電波による定常状態での温度上昇、反応などを詳細に調べた例はない。

## 【現状・課題】

- 現在、総務省委託研究事業において5G電波の人体皮膚局所ばく露影響に関する研究が実施されており、当該研究において、5G局所電波ばく露時の人体皮膚影響およびその影響閾値が明らかになると期待されている。
- 一方、人体モデルシミュレーションを用いた最新の温熱生理研究において、体温に代表される一部生理反応は年齢や環境温湿度条件(例:熱中症環境)に大きく左右されることが示されている。

## 【具体的内容】

異なる年齢層の被験者および異なる環境温湿度条件のもとで人体皮膚局所ばく露実験を実施し、先行研究から得られた人体皮膚局所ばく露影響のばく露強度閾値についての変動を調査する。併せて、シミュレーションモデル解析による結果と比較検討する。

## 【想定される研究成果】

- 先行研究で取得されている生体反応閾値は年齢層による差異が認められることが予想され、その差異の幅を示すことができる。
- 生体反応閾値は環境温湿度に大きく左右されることが予想され、その差異の変動幅を示すことができる。

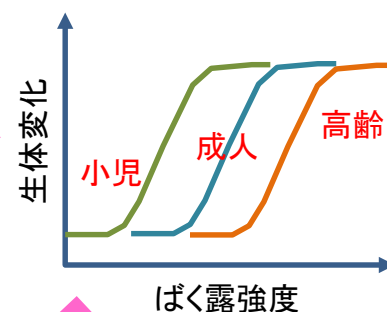
## 【期待される効果】

国内外を通して未だ明確になっていない5G電波の安全性評価の基礎知見が蓄積される。特に閾値に対する各種条件による差異は、ガイドラインの低減係数を考慮する上で重要なデータになることが期待される。WHOが今後基準を策定するにあたり、そのような知見が不足している。

## 5G電波局所皮膚ばく露



## ①閾値評価



## ②モデル解析

$$B(\mathbf{r}, t) = \left[ B_0(\mathbf{r}) + F_{HB} \Delta T_H + F_{SB} \overline{\Delta T_S} \right] \cdot 2^{\Delta T(\mathbf{r}, t) / 6}$$

# 研究課題名:「高周波ばく露によるエピジェネティックな変化の検索」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】700MHz～900MHz、1.5GHz～3.5GHz (国内外において携帯電話で使用されている周波数帯を想定)

## 【研究目的・全体概要】

・これまで培養細胞を使用し、行われてきた試験においては、染色体・DNAを対象とした遺伝毒性への影響をみるものが多かったが、影響はあまり見られないことから、間接的影響として、エピジェネティックな変化が起こっている可能性を検索する。また、対象の細胞としては、電磁波過敏症に類する可能性を考慮し、色素性乾皮症(XP)由来細胞や毛細血管拡張性運動失調症(AT)由来細胞などの紫外線、放射線高感受性細胞を用いる。

## 【現状・課題】

- ・携帯電話で使用されている高周波ばく露による細胞におけるエピジェネティックな影響はあまり報告がない。
- ・電磁波過敏症を対象にした報告が少ない。
- ・実際の電磁波過敏症の細胞を用いることは、確立していない症例であることもあり困難か。XP、AT細胞での代用で十分か。
- ・今までの試験で用いたばく露装置を再び作製するのは問題があるかもしれない。既に作製され、廃棄されず使用できるものがあることが望ましい。

## 【具体的内容】

高周波電磁場ばく露によるメチル化、またはアセチル化DNAの増減を検索する。また、活性化型・抑制型ヒストン修飾化の増減を検索する。また、XP、AT細胞での高周波ばく露による影響を検索する。

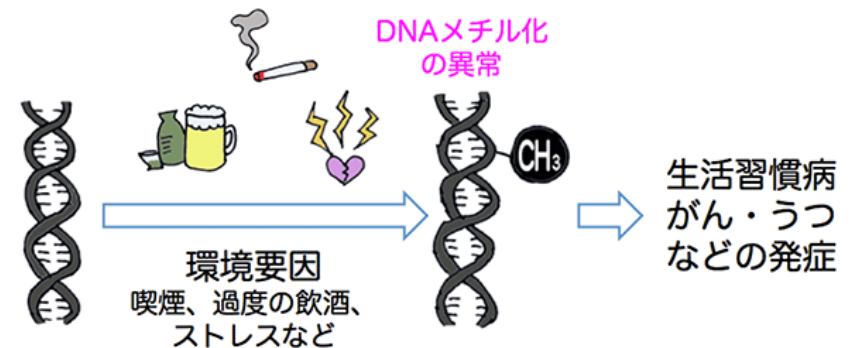
## 【想定される研究成果】

- ・高周波電磁場ばく露によるメチル化、アセチル化DNAの増減やヒストン修飾の増減が見られる可能性。
- ・高感受性細胞での反応がNormalな細胞と違う可能性。

## 【期待される効果】

・電磁場ばく露による細胞におけるエピジェネティックな影響や電磁過敏症の細胞データが欠落していることから、細胞レベルでの電磁場の影響を明らかにし、WHOのリスク評価に貢献する。

## DNAのメチル化の異常による変化





# 研究課題名:「高周波・超高周波複合全身ばく露に関する年齢および環境に対する閾値変動の調査」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】10 MHz – 300 GHz

## 【研究目的・全体概要】

高周波ばく露時における体内深部温度上昇の、異なる年齢層の被験者および異なる環境温湿度条件に対する生体影響閾値の変動について調査することにより、全身平均SARの閾値策定に貢献する。

## 【現状・課題】

- これまで、電波の安全性に関しては局所ばく露に主眼に策定されているが、現在の国際ガイドライン、国際基準の改定では、全身平均SARの超高周波での検討について議論されており、我が国の防護指針と合致している。
- 一方で、5Gでは高周波、超高周波の複合的ばく露が予想される中、それらの扱いに関する検討はない。
- 人体モデルシミュレーションを用いた最新の温熱生理研究において、体温に代表される一部生理反応は年齢や環境温湿度条件(例:熱中症環境)に大きく左右されることが示されている。

## 【具体的内容】

異なる年齢層の被験者および異なる環境温湿度条件のもとで人体全身ばく露実験を実施し、ばく露強度閾値についての変動を調査する。併せて、シミュレーションモデル解析による結果と比較検討する。

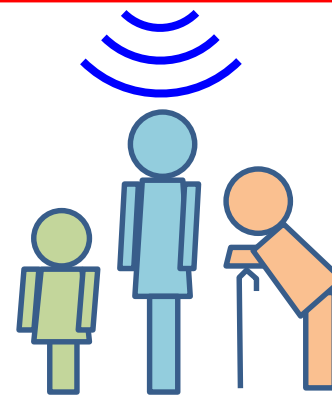
## 【想定される研究成果】

- 先行研究で取得されている環境温度に対する反応より、生体反応閾値は年齢層による差異が認められることが予想され、ばらつきの幅を示すことができる。
- 生体反応閾値は環境温湿度に大きく左右されることが予想され、電波との複合的な閾値の変動幅を示すことができる。

## 【期待される効果】

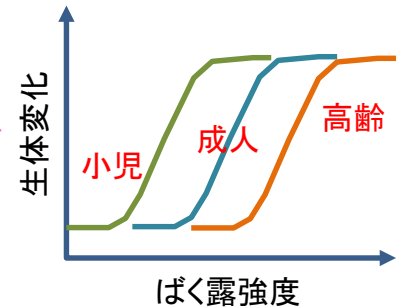
WHO基準が期待される中、年齢、周辺環境、更には複合的な電波ばく露に対する影響を考慮することは策定に対して重要な寄与となりうる。

電波全身ばく露



環境温湿度制御

①閾値評価



②モデル解析

$$T_B(t) = T_{B0} + \int_0^t \frac{Q_{BT}(t) - Q_{BT}(0)}{C_B \rho_B V_B} dt$$

# 研究課題名:「国際的な環境条件に合致する電波による眼障害閾値検索」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】18 GHz～95 GHz

## 【研究目的・全体概要】

・国際的なガイドラインの策定の根拠とされるデータは実験室環境で行われた実験データであるため、グローバル環境の視点からはガイドラインが合致していない。グローバルな環境に合致するガイドラインの根拠となるデータを提示し、改訂される国際ガイドラインの方向性をリードする。

## 【現状・課題】

- ・国際的な電波防護に関するガイドラインは改訂の時期を迎えている。
- ・現在のガイドラインは、一般的実験室でのデータから策定されている。
- ・現行の国際ガイドラインにおいて、高温・多湿環境の影響は十分考慮されていない。

## 【具体的内容】

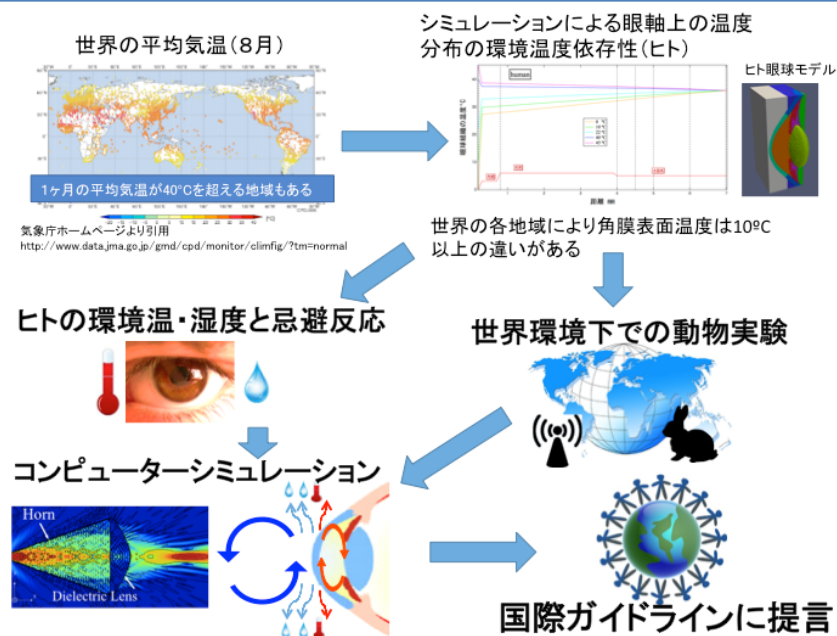
- ①ヒト眼部の忌避反応と環境因子の関連究明
- ②世界レベルでの環境温・湿度状況での電波による眼障害の閾値検索
- ③シミュレーションによるグローバル環境に合致する眼障害閾値の提言

## 【想定される研究成果】

- ・5G、WiGigで使用されるミリ波の高温・高湿度での眼障害閾値策定
- ・環境条件によるヒトの忌避反応相違の有無の明確化
- ・シミュレーションによる現行国際ガイドラインの再検討

## 【期待される効果】

- ・世界的環境条件に合致する実験条件で電波による眼障害実験をおこなうことにより、国際的なガイドラインの改定時に根拠となる実験データを提供することが可能となる。
- ・今後策定が期待されるWHO基準などにおいて、低減係数の設定に関する有用なデータとなり得る。



# 研究課題名:「マイクロ波聴覚効果の定量的研究」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
4. その他(〇〇の分野)

【対象周波数】 300 MHz ~ 6GHz

## 【研究目的・全体概要】

マイクロ波聴覚効果の知覚特性をヒト実験により明らかにし、数値解析との一致性を検証する。実験的に裏付けのある数値解析を用いてさまざまな条件における知覚特性を明らかにし、また音声情報を伝達するために必要なばく露条件を明らかにする。

## 【現状・課題】

マイクロ波聴覚効果はマイクロ波パルスの頭部での吸収によって生じる熱弾性波が聴覚器官によって感知される現象とされる。1970年代に確立された現象とされる一方、現在でもこの現象に不安を抱く事例が多い。特に日常環境の電波ばく露でも生じる現象であるという懸念がたびたび表明されている。このことから、この現象を実験的に再検証し、シミュレーションとの比較によりメカニズムを定量的に明らかにする必要がある。さらに知覚のためのばく露条件の詳細を明らかにし、具体的、定量的にこの現象の全体像を示す必要がある。

## 【具体的内容】

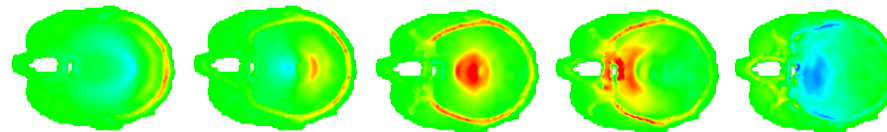
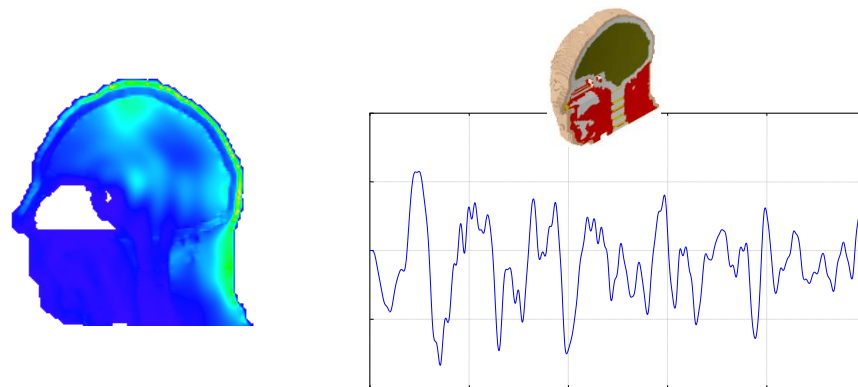
解剖学的人体モデルを用いたシミュレーションにより定量的に実験条件の設定を行う。これに基づきヒト実験により、シミュレーションの妥当性を検証する。音声情報を伝達する条件などを算出し、防護指針の範囲で可能かどうかシミュレーション及び実験により確認する。

## 【想定される研究成果】

マイクロ波聴覚効果のメカニズムについて、実験によって裏付けられた最新の数値解析技術によるシミュレーションを用いて定量的に理解、予測することが可能となる。

## 【期待される効果】

未だ不安の声がなくなるマイクロ波聴覚効果についての実験的裏付けのある理解を深めることで、定量的かつ実証的にこの現象についての説明を可能とすることで、不安を和らげる効果が期待できる。



# 研究課題名:「身の回りの電波環境によるばく露の定量化及び健康との関連の調査」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
4. その他(〇〇の分野)

【対象周波数】 100kHz ~ 100GHz

【研究目的・全体概要】 身の回りのさまざまな電波発生源、特に無線通信機器からのばく露の特性を網羅的に特徴付け、人体ばく露を定量的に整理する。現在の機器だけでなく、今後普及が見込まれる機器や、過去に遡っての評価も行う。この結果を用いて、電波ばく露と疾病の罹患との生態学的研究及び過去の症例対照研究データの再解析を行い、電波ばく露と健康の関連についての長期的な監視体制を構築する。

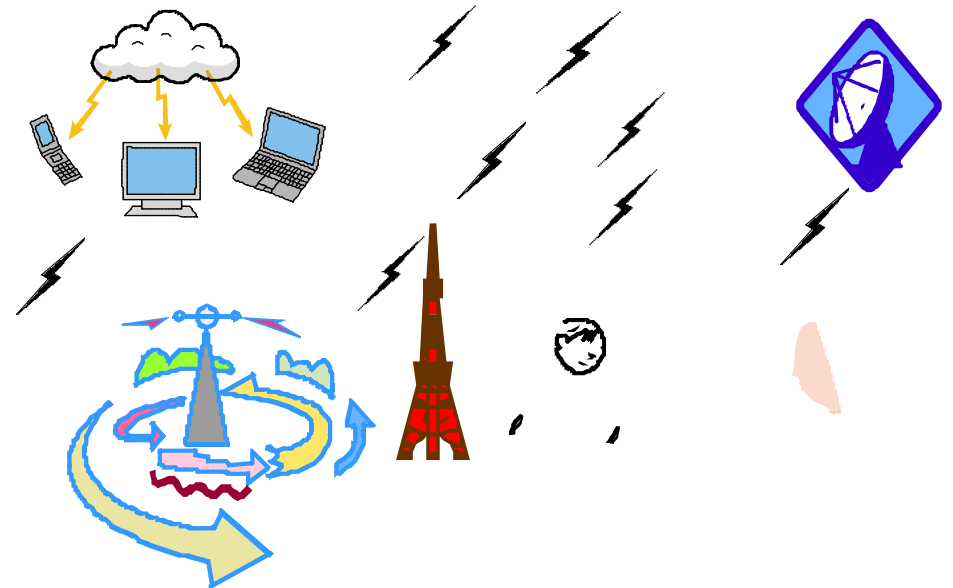
【現状・課題】 身の回りには無線通信機器が多数存在する。我々はそれらの機器からの電波を日常的にばく露されている。一方で、無線通信技術の進歩は急激で、電波の利用技術やそれらからの電波強度は絶えず変化している。また、多数の無線機器が同時に身近に存在するため、ばく露の状況がますます複雑になっている。これらのばく露状況を定量的に把握し、データの蓄積を行っておかなければ、ばく露状況の時間的な変遷は記録に残らず、電波ばく露と健康の関連についての調査の機会を失ってしまう。現状、過去、今後のばく露の状況を調査整理し、可能な限りのデータ収集を行うと共に、今後のばく露データの蓄積の在り方を示す必要がある。また、電波ばく露と健康との関連を継続的に調査する必要がある。

## 【具体的内容】

多様な無線機器・設備からの電波ばく露特性(波形、実際の電力、利用状況等)を実測・推定により、網羅的に整理する。ばく露量のデータに基づき、電波ばく露と健康に関する生態学的調査及び過去の症例対照研究の再解析を行う。

【想定される研究成果】 各種無線機器・設備からの電波強度、特性等を定量的に明らかにし、日常生活におけるばく露の状況が明確化される。また、精密化された定量的ばく露データに基づく過去の疫学研究データの再解析により、電波と健康の関連について、新たなエビデンスを知恵要する。

【期待される効果】 身の回りの多数の発生源からさまざまな電波が実際にどの程度のばく露量なのかを明らかにすることで、漠然とした不安を与えない電波利用が可能になる。また、長期的にデータを蓄積することにより、電波ばく露と健康の関連を適切に監視できる体制を構築することができる。





# 研究課題名:「新しい無線通信等による人体の影響に関する疫学調査」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】 6GHz～

## 【研究目的・全体概要】

第5世代携帯電話(5G)で活用が検討されている6GHz以上の周波数帯のばく露による生体影響を、デバイスの使用方法の多様化の影響を含めて検討する。従来の無線通信に加えて5Gを使用する成人に対して、ワーストケースとして脳腫瘍と白血病の発症リスクを検討する。

## 【現状・課題】

・2020年を目標に無線通信を高速化・大容量化させ、日常生活に電波を利用した様々なサービスを導入することが予定されているが、人への健康影響は十分に検証されていない。6GHz以上の周波数帯の新規利用による5Gの導入は、ウェアラブル、ワイヤレスなど多様なデバイスが急速に普及する見通しであり、従来の通話による脳腫瘍だけでなく、熱作用、非熱作用による生体影響について検討が必要である。

## 【具体的内容】

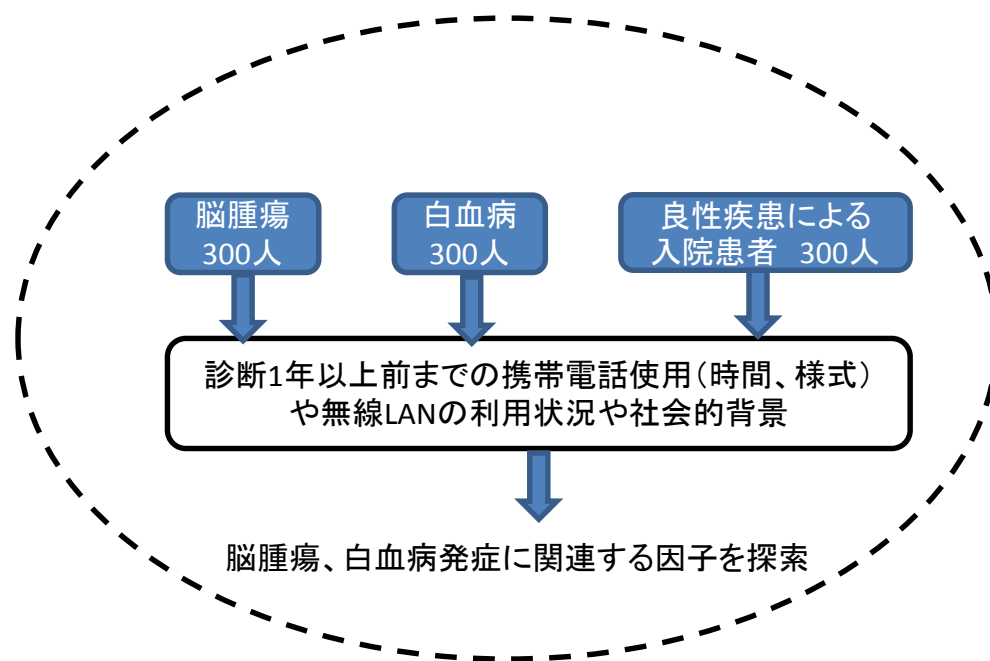
日本で5Gの導入が予定されている平成32年から疫学調査を行う。全国がん登録から、対象地域の新規脳腫瘍、白血病患者を抽出し、無線通信の利用、社会的背景について後ろ向きに調査する。

## 【想定される研究成果】

・症例対照デザインであるため限定的ではあるが、脳腫瘍、白血病患者のばく露の影響の関連を検討できる。ヘビーユーザーが含まれる18-65歳を対象とすることでワーストケースの推定が可能。より精密なばく露評価のための変数を収集し、6GHz以上のばく露評価法の確立を支援する。

## 【期待される効果】

・WHO、局所吸収指針とも6GHz以上のデータが欠落しているところ、疫学研究による電波の影響を明らかにし、WHOのリスク評価に貢献する。



# 研究課題名:「中間周波(特に100kHz帯)における非熱作用の健康リスクに関する調査」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】80~100kHz

## 【研究目的・全体概要】

・EV用のWPTシステムを想定し、100kHz帯において基本制限相当の非常に強い中間周波電磁界の非熱作用の健康リスクに関する調査をする。化学物質の国際ガイドラインなど、一般的な遺伝毒性関連試験法を用いて、中間周波の生体影響の有無を検証し閾値についても精度よく推定する。

## 【現状・課題】

- ・バス等への100 kW以上の大電力EV用のWPT開発を踏まえ、安全性の確保が急務。(繰り返し比較的強い磁界にさらされる機会が増加)
- ・電波防護指針は、刺激作用の回避が目的であり、非刺激作用は想定外。
- ・人がコイルに接近した際に安全装置が動作するまでタイムラグが発生し、防護指針を超える強いばく露を受ける可能性が指摘。
- ・人では強力な磁界ばく露実験は倫理的問題が多く、実質不可能。一方で、中間周波の強い電磁界を発生させる電源等の技術開発が必要な状況。

## 【具体的内容】

強力な磁界を発生可能なばく露装置の製作・数値ドシメトリの実施。動物実験・細胞実験による遺伝毒性試験の実施。ドシメトリと毒性試験の結果を突合し、人に外挿したときの安全性の評価。

## 【想定される研究成果】

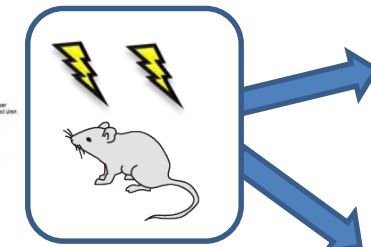
・電波防護指針で想定をしていないような非刺激作用の有無について、発がん性の初期評価である遺伝毒性試験により、そのリスクの有無について研究結果を得ることができる。

## 【期待される効果】

- ・WHOでは中間周波数帯の非熱的生体影響のデータが不足していると述べられており、本研究はそれを補完する物である。
- ・将来における本周波数領域のリスク評価に貢献できる。



バスへの電力伝送では100kW以上となるため大きな磁界に晒される可能性。



IF-MFIによる遺伝毒性を感度の高い手法で評価



フローサイトメリー



顕微鏡



←現在総務省研究で進めている中間周波研究の動物用ばく露装置



# 研究課題名:「中間周波の痛覚閾値評価」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響 (①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響 (①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響 (①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】10kHz~10MHz

## 【研究目的・全体概要】

・細胞や動物を用いた実験研究により、痛覚閾値の周波数特性を明らかにし、精密な痛覚閾値推定用の数値モデルを構築する。これにより、明確な健康リスクである痛覚を指標にしたガイドラインの構築に貢献する。

## 【現状・課題】

- ・中間周波帯のガイドラインは神経刺激作用に基づいて決められている。
- ・音、光、臭い等の感覚刺激と比較すると、刺激作用が防護すべき健康リスクであるか明確ではなく、過剰なガイドラインであることが懸念される。
- ・痛覚など、防護すべき明確な悪影響を指標にしたガイドラインであれば、過剰な防護対策(低減係数)が不要になる。
- ・ヒトを対象にした研究も必要であるが、数値モデルの精緻化には介入実験が可能な動物や高度モデル化が容易な細胞を用いた研究が必要である。

## 【具体的内容】

実験的に、ヒト/動物由来の痛覚関連末梢神経細胞や動物個体の痛覚閾値の周波数特性や刺激応答機構を明らかにし、痛覚閾値推定のための新たな数値モデルを構築する。

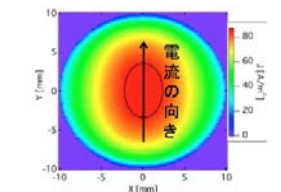
## 【想定される研究成果】

- ・中間周波ばく露装置の開発とドシメトリ
- ・ヒト細胞/動物における痛覚閾値の周波数特性の解明
- ・痛覚閾値推定のための新たな数値モデルの構築

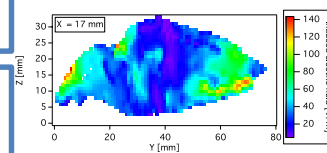
## 【期待される効果】

・末梢神経への刺激作用に基づいたガイドラインでは過剰なばく露対策を強いられる可能性がある。本研究により、明確な健康リスクである痛覚を指標にした新たな数値モデルを構築できれば、科学的妥当性の高いWHOのリスク評価およびICNIRPガイドラインの改定に貢献できる。

中間周波ばく露装置の開発とドシメトリ

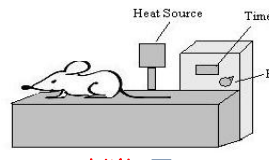
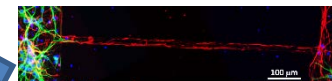


内部誘導電界解析



内部誘導量解析 (超大規模計算)

ヒト神経細胞/動物における痛覚閾値の周波数特性の解明



刺激



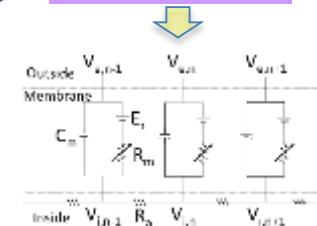
掉尾反射

モデル化

痛覚閾値推定のための数値モデルの構築



有髄神経の概略



神経線維束での高度モデル化

痛覚応答の数値モデル

痛覚応答

# 研究課題名:「中間周波不均一ばく露の刺激閾値および行動に与える影響の調査」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】10 kHz – 10 MHz

## 【研究目的・全体概要】

- ・中間周波ばく露時における刺激閾値はデータが欠如しており、低周波からの外挿で閾値が推定されている。
- ・磁界ばく露については、一様磁界関するものがほとんどであり、不均一ばく露に対する検討、さらにはそれ以外の因子(異なる環境温湿度条件、マスク効果など)に対する変動について調査すれば、閾値策定に貢献できるはずである。
- ・中枢神経系(脳)へのばく露の、行動に与える影響について検討した例はない。

## 【現状・課題】

- ・中間周波に関する刺激閾値は、主に接触電流が検討されており、外部磁界に対する影響評価は十分ではない。
- ・磁界の不均一性の刺激閾値に与える検討を実施できれば、現実環境下での閾値設定に貢献できるはずである。
- ・現在のガイドラインではkHz帯以上では末梢神経系と中枢神経系が同様に扱われているが、中間周波刺激の行動に与える影響を評価することができれば、刺激閾値の設定に新たな知見を与えることができるはずである。

## 【具体的内容】

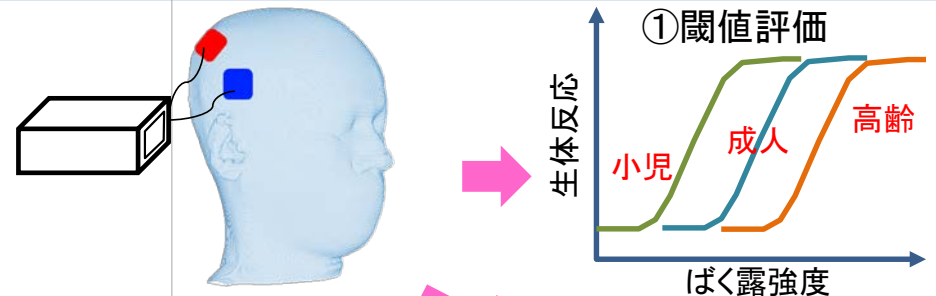
異なる年齢層の被験者および異なる条件のもとで中間周波による局所刺激を実施、①不均一ばく露に対する刺激閾値の調査、②行動に与える影響について検討する。

## 【想定される研究成果】

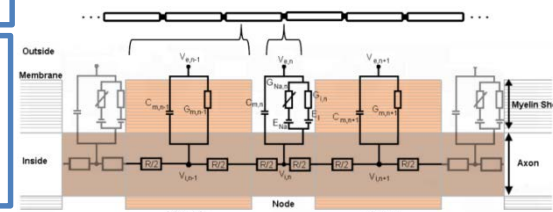
- ・中間周波帯における中枢神経系と末梢神経系の同一の取り扱いの根拠の明確化に寄与できる。
- ・不均一な磁界(現実的な磁界)の取り扱いに寄与することができ、防護指針策定における科学的根拠の明確化に寄与できる。

## 【期待される効果】

WHO基準が期待される中、世界共通の規格を策定するうえで、中間周波帯における刺激閾値の根拠明確化は、必要不可欠である。また、中間周波帯における年齢依存性データは欠如している。



## モデル解析



## ②ヒト行動実験



# 研究課題名:「電波ばく露における神経作用(痛覚閾値)の調査」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】10 kHz~300GHz

## 【研究目的・全体概要】

- 近年、5Gシステムや無線電力伝送など新しい電波の利用が世界的にも開発・普及が進むなか、中間周波~高周波帯における接触電流やミリ波ビームによる皮膚への局所ばく露の機会が増えることが予想される。これらのばく露条件に対する電波防護指針値の根拠の信頼性を向上させるために、電磁波ばく露での熱痛に関し、人体の神経作用と痛覚閾値特性の基礎データを取得し、世界に先駆けてデータを提供する。

## 【現状・課題】

- 中間周波で生じる刺激作用帯の接触電流により生じる、温感・熱感・熱痛などの痛覚など人体の神経作用に関する科学的データが欠落している。
- ミリ波帯による熱痛は、米軍による少数の研究が行われているだけであり、空間平均・時間平均・周波数特性等に関する詳細なデータが欠落。
- 電磁界ばく露による知覚作用は、刺激知覚と熱作用が拮抗しながら遷移するため、様々な刺激条件での詳細な検討が必要になる。
- 今後普及する5GシステムやWPTシステムなど電磁界利用を必要以上に制限し、適正な利用を妨げる可能性がある。

## 【具体的内容】1.ばく露評価手法の開発と最適化

- 2.接触電流・ミリ波ビームによる温感・熱感・熱痛の知覚閾値のデータ取得
- 3.マイクロレベルの応答(神経反応)に基づく詳細な生体モデル構築

## 【想定される研究成果】

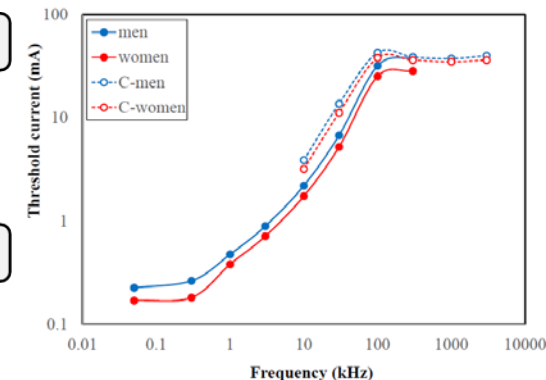
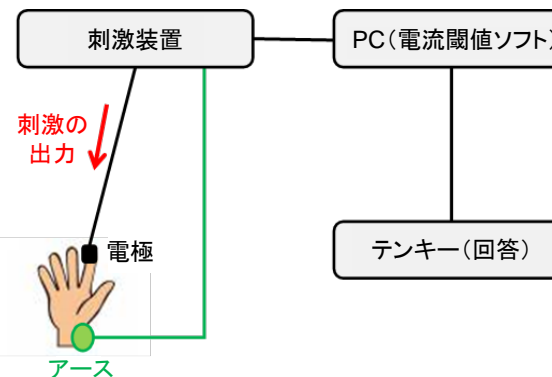
- 現在の電波防護指針の妥当性、国際的なガイドラインとの整合性の検証
- 医学・工学に基づいた生体モデル・シミュレーションが可能になる。

## 【期待される効果】

- 新しい電波の利用に関する適正な防護指針の策定→一般生活の利便性向上や経済効果への貢献
- 電磁波ばく露の知覚についての神経生理学的解明と電磁波を用いた治療を含めた医療応用への波及



Current flows from  $\phi 1$  cm electrode



# 研究課題名:「パルス電磁界ばく露に対する生体影響調査研究」

## 【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】10 kHz～300 GHz

## 【研究目的・全体概要】

- ・パルス電磁界ばく露によってマイクロ波聴覚効果、神経系刺激、瞬時過熱による驚愕反射(startle reflex)等様々な生体影響があることが知られている。しかし、正確なドシメトリ評価が困難であったため、作用機序が未解明であったり、閾値のレベルが確立されていない等の問題があった。
- ・本研究の目的は、パルス電磁界によるばく露装置を開発し、パルス電磁界に対する生体影響を調査する。

## 【現状・課題】

- ・現在のパルス波の指針値はほとんどが1970年代の研究成果に基づいており、最新の評価技術に基づく調査を実施し、根拠を検証する必要がある。
- ・正確なばく露評価に基づく、人体や実験動物へのパルス波ばく露装置の開発と、同装置を用いた信頼性の高い医学・生物学的観点からの調査研究が必要である。

## 【具体的内容】

マイクロ波聴覚、神経系刺激、驚愕反射等を調査するためのパルス電磁界を用いたばく露装置を開発する。同装置を用いて、既知のパルス波影響の閾値特性や未知のパルス波の生体影響等について調査を行う。

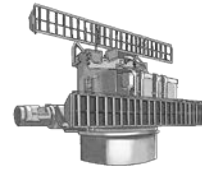
## 【想定される研究成果】

- ・パルス波の生体影響を評価するための高精度ばく露装置。
- ・パルス波の生体影響の閾値特性。

## 【期待される効果】

- ・国民に対してパルス電磁界ばく露に対する科学的に正しい知識を提供すると共に、正確なドシメトリによって国内の電波防護指針、国際ガイドラインの策定に貢献する。
- ・電磁パルスを用いた新たな電波の有効利用技術を開発するための基礎データを提供することが期待される。

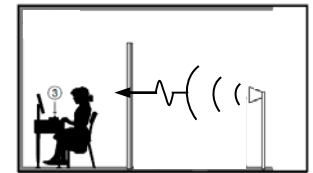
## 様々なパルス電磁界



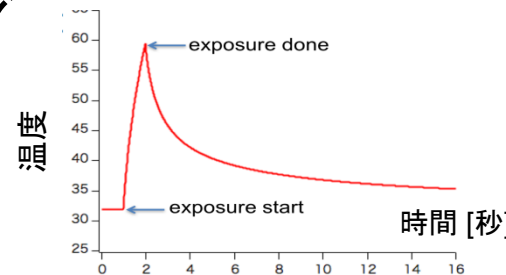
船舶レーダー



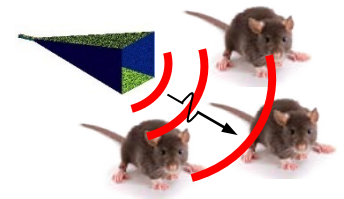
ミリ波レーダー



マイクロ波聴覚のばく露実験



瞬時過熱の例



動物を用いた生体影響調査

# 工学に基づく研究



# 研究課題名:「個人ばく露評価用次世代数値人体モデル開発」

## 【波及が予想される分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】10 kHz~300 GHz

## 【研究目的・全体概要】

・個人に対する電波ばく露量の高精度推定技術を確立するために必要となる人体を模擬した数値モデル(数値人体モデル)の開発、さらに将来的な無線通信技術に対応可能な、周波数に依存しない数値人体モデルの構築技術を確立する。

## 【現状・課題】

- ・数値人体モデルは主に平均的な寸法を有するモデルであり、我が国の人々の体格のばらつきをカバーするような評価には不向き。
- ・電波ばく露による温度上昇等の複数の物理現象を包含した横断的な研究に利用可能な高精度数値人体モデルが存在しない。
- ・高齢化社会が進む中、高齢者を対象とした数値人体モデルが存在しない。

## 【具体的内容】

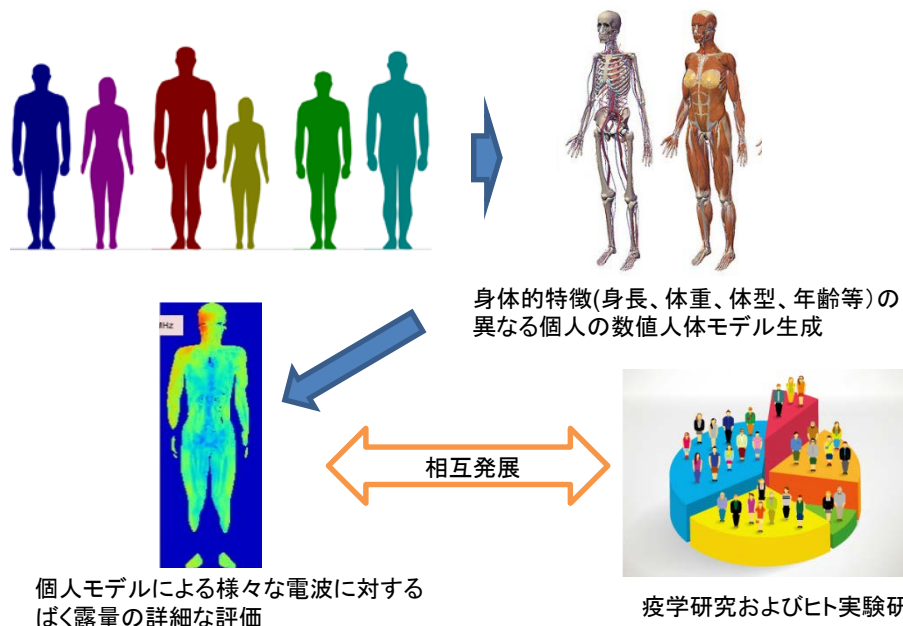
個人の身体的情報(体型、年齢等)を用いて、その個人の内部組織構造を推定した高精度数値人体モデル生成技術を確立する。上記の技術を応用し、幼児から老人までの高精度数値人体モデルを構築する。

## 【想定される研究成果】

- ・周波数非依存型の個人ばく露用数値人体モデルの開発
- ・我が国の人々をカバー可能なモデルの開発
- ・横断的な研究に利用可能な数値モデルの開発

## 【期待される効果】

- ・本研究成果による個人ばく露時の電波吸収の詳細な評価は、疫学研究またはヒト実験研究の発展、展開に重要な情報を提供することが期待でき、WHOのリスク評価にも貢献する。
- ・他分野における人体モデルを用いた研究・開発にも貢献が期待される。





# 研究課題名:「新しい電波ばく露環境に対するリスク調査」

## 【波及が予想される分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】6 GHz～100 GHz

## 【研究目的・全体概要】

- ・6 GHz以上の周波数を利用した無線技術の普及により、公衆への電波ばく露環境が大きく変化することが想定される。
- ・5G無線基地局による新しい電波ばく露環境に対する電波ばく露量の評価技術の構築および、人体へのリスク評価を目的とする。

## 【現状・課題】

- ・5Gシステム等の新しい携帯無線基地局ではファイズドアレーシステムの導入が想定されており、従来とは異なる電波ばく露環境が想定される。
- ・フェイズドアレーシステム等からのビーム状のミリ波への人体ばく露の評価方法が確立されておらず、人体ばく露量の評価データも存在していない。
- ・従来のマイクロ波帯を用いた携帯無線システムと新たなミリ波帯を用いた携帯無線システムを包含した総合的なばく露評価技術は未確立であり、リスク評価のためのばく露量評価データも蓄積されていない。

## 【具体的内容】

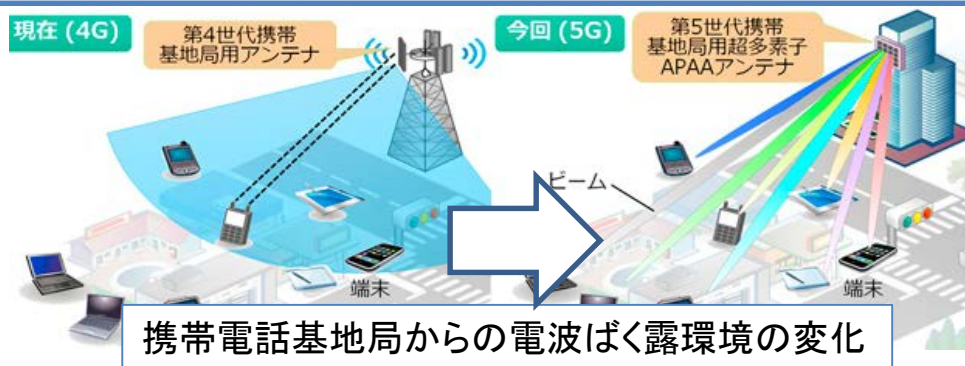
- (1) 人体ばく露量を評価するための評価技術の構築
- (2) 次世代携帯無線基地局による電波ばく露量の調査
- (3) 取得されたばく露量に基づくリスク評価

## 【想定される研究成果】

- ・5G携帯無線基地局からの電波ばく露評価技術
- ・将来的に想定される6 GHz以上の周波数を利用した無線機器からの健康影響調査のための疫学研究のためのばく露量モニタリングデータ

## 【期待される効果】

- ・5Gシステム等の新しい電波利用システムからの電波ばく露特性の正確な評価により、当該システムの技術開発や円滑な利用開始に貢献することが期待される。
- ・本研究成果はミリ波帯電波ばく露に疫学研究の基礎であり、WHOのリスク評価に貢献することが期待される。



# 研究課題名:「マイクロ波帯を利用する無線電力伝送システムの適合性評価方法に関する研究」

## 【波及が予想される分野】

1. **中間周波の影響** (①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. **高周波の影響** (①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. **超高周波の影響** (①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】10 MHz～6 GHz

## 【研究目的・全体概要】

・マイクロ波帯を利用した無線電力伝送(WPT)の開発および普及に伴う一般環境における電波ばく露の機会が増加することが予想されるが、これらのシステムからの電波への人体ばく露量評価技術は確立されていない。そこで、マイクロ波帯を利用したWPTの電波防護指針等への適合性評価方法を確立する。

## 【現状・課題】

- ・マイクロ波帯を利用したWPTシステム近傍の電磁界分布についての詳細な評価データがない。
- ・マイクロ波帯を利用したWPTシステムでは、近傍電磁界の評価では電波防護指針への適合性を評価できない可能性があり、その場合には比吸収率の測定を行う必要があるが、WPTシステムを対象とした比吸収率の測定手法は確立されていない。
- ・マイクロ波帯を利用したWPTシステムの利用シーンや技術的要件に対して、適切な電波防護指針の評価手順の策定が必要とされている。

## 【具体的内容】

- (1) 適用すべき指針の特定
- (2) 人体ばく露量(近傍電磁界および比吸収率)を評価するための評価技術の開発
- (3) 評価技術の国際標準化に向けた検討

## 【想定される研究成果】

- ・マイクロ波帯を利用したWPTシステムの人体ばく露量評価技術
- ・マイクロ波帯を利用したWPTシステムの人体ばく露量評価データ

## 【期待される効果】

- ・国内規制導入のためのリスク評価・適合性確認手法策定等の審議におけるデータ寄与
- ・国際標準規格への反映
- ・WHO/ICNIRP等における健康リスク評価への貢献



国家戦略特区(京都府相楽郡精華町)を利用した 京都大・京都府・企業によるワイヤレス給電実験(2017)  
<http://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/suishin/meeting/wg/toushi/20171024/171024toushi03-2.pdf>

# 研究課題名:「5Gシステムの電波防護指針適合性評価システム」

## 【波及が予想される分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】6GHz～300GHz

## 【研究目的・全体概要】

- ・我が国における5Gシステムのサービス開始において、無線端末からの電波ばく露量に対する電波防護指針への適合性を確認する必要がある、現在、IECにおいて適合性評価方法の国際標準化が進められており、我が国からも評価方法を提案している。
- ・しかし、我が国が中心になり提案している評価方法を用いた測定システムは実用化されていない。
- ・本研究では、5Gシステムの電波防護指針への適合性評価を可能とする実用的な測定システムの開発を目的とする。

## 【現状・課題】

- ・6GHz以上では入射電力密度がばく露評価指標となっているが、5Gシステム端末のような端末近傍での電力密度の評価において、信頼性かつ再現性に優れた評価システムの要件等についての検討は十分には行われていない。
- ・評価システムを市販し、普及するためには、評価システムの簡便化・低廉化や評価手順の簡略化についての検討が必要。
- ・評価結果の妥当性検証と詳細な不確かさ評価が必要。

## 【具体的内容】

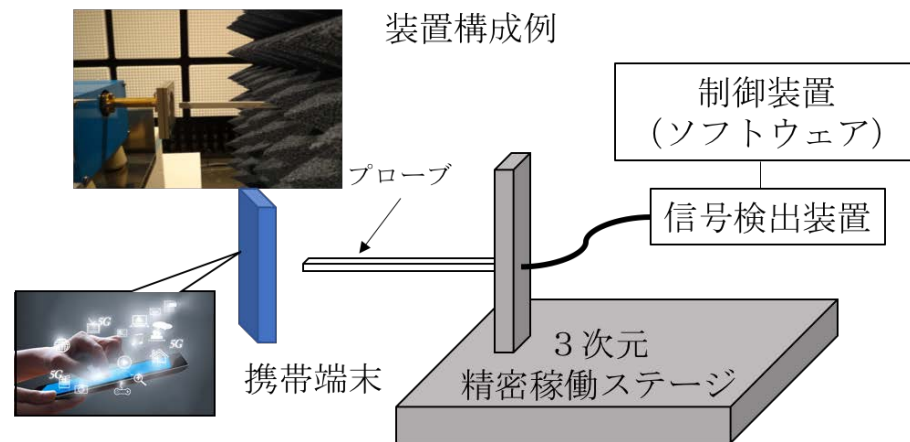
5Gシステムを含む無線通信端末近傍の電力密度の評価システムを試作、測定データを取得し、測定装置の妥当性検証および詳細な不確かさ評価を実施する。

## 【想定される研究成果】

- ・5G携帯無線端末の電波防護指針に対する適合性評価のための評価システムの技術的要件の明確化。
- ・5G携帯無線端末の近傍電磁界分布の測定データ。
- ・5G携帯無線端末のばく露評価量の不確かさ。

## 【期待される効果】

- ・我が国が主導する評価原理に基づく評価システムの開発・普及の促進。
- ・5Gシステムの安全性を考慮した適切かつ円滑な導入の促進。





# 研究課題名:「パルス電磁界ばく露に対する生体影響評価技術」

## 【波及が予想される分野】

1. 中間周波の影響 (①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響 (①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響 (①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】10 kHz～300 GHz

## 【研究目的・全体概要】

・パルス電磁界ばく露によってマイクロ波聴覚効果、神経系刺激、瞬時過熱による驚愕反射 (startle reflex) 等様々な生体影響があることが知られている。しかし、正確なドシメトリ評価が困難であったため、作用機序が未解明であったり、閾値のレベルが確立されていない等の問題があった。  
・本研究の目的は、パルス電磁界に対する生体影響を評価するために、パルス電磁界によるばく露評価技術を確立する。

## 【現状・課題】

・現在のパルス波の指針値はほとんどが1970年代の研究成果に基づいており、最新の評価技術に基づく調査を実施し、根拠を検証する必要がある。  
・パルス波の人体ばく露量評価技術の改良が必要である。具体的には数値人体モデルを用いた高速・高精度なパルス波計算手法と、実験動物や人体ファントム等を用いた高精度計測手法の確立が必要である。

## 【具体的内容】

パルス波は広帯域の周波数成分を有しており、このような広帯域信号に対する数値解析手法の高速・高精度化を行う。また、広帯域の周波数成分に対応したファントム媒質の開発や、測定プローブの開発等を行う。

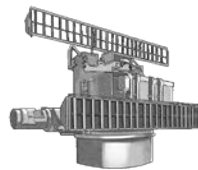
## 【想定される研究成果】

- ・生体内におけるパルス波の伝搬特性や吸収特性等の正確な評価技術。
- ・人体や実験動物における正確なパルス波へばく露特性。

## 【期待される効果】

- ・国民に対してパルス電磁界ばく露に対する科学的に正しい知識を提供すると共に、正確なドシメトリによって国内の電波防護指針、国際ガイドライン及び製品に対する適合性評価法の策定に貢献する。
- ・電磁パルスを用いた新たな電波の有効利用技術を開発するための基礎データを提供することが期待される。

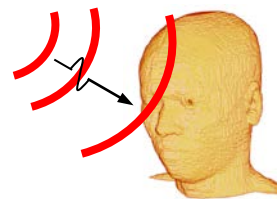
## 様々なパルス電磁界



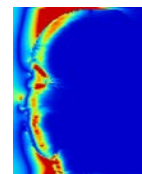
船舶レーダー



ミリ波レーダー



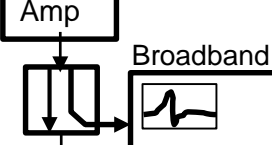
パルスによるばく露のドシメトリ評価



Pulse Generator

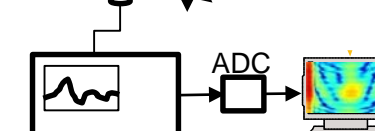
Amp

Broadband Osc.



Radar/  
Antenna

Wideband  
antenna



パルス電磁界測定システム

# 研究動向から見た今後の研究ニーズについて

## これまで研究の実施例がない研究分野

- ・中間周波数帯のヒトボランティア研究（アウトカムは要検討）
- ・中間周波数帯の疫学研究（H29年度から総務省研究で実施中）
- ・超高周波数帯のヒトボランティア研究（H29年度から総務省研究で実施中）
- ・超高周波数帯の疫学研究（アウトカムは要検討）

## 近年報告が増えているが我が国で行われていない研究分野

- ・神経変性疾患に関する動物研究・疫学研究
  - ・リプロダクティブヘルスに関する疫学研究
- ※ 上記2件について、周波数帯は幅広に対応することが望ましい。

## その他留意すべき研究分野

- ・超高周波数帯の生体熱作用・非熱作用の事象を明確化する研究
- ※ 熱作用を惹起できる波源の調達が必須。

## まとめ

課題は多岐にわたり、優先順位、実施時期など多角的要素を考慮し検討していく必要がある。